

# 宽带宽张角测向天线设计

陈小强 许庆丰 叶素珍

(船舶重工集团公司 723 所, 扬州 225001)

**摘要:** 本文介绍了一种可用于六方位比幅系统的测向天线单元, 工作频带在 3:1 以上, 具有  $60^\circ$  左右的恒定波束宽度, 可满足中等测向精度系统要求。

**关键词:** 恒波束天线, 比幅测向, 宽带

## Design of Wideband Wide-Angle DF Antenna

XU qingfeng YE suzhen CHEN xiaoqiang

(The 723 Institute of CSIC, Yangzhou 225001, China)

**Abstract:** In this paper, a kind of wideband wide-angle antenna cell for direction-finding system was introduced. This antenna has constant beamwidth and can work in 3:1 frequency band. It is a appropriate candidate antenna in middling DF precision system.

**Keywords:** Convex horn antenna; Direction-finding; Wide band

## 1 引言

在电子战测向系统中, 常见的测向天线单元主要有螺旋天线、喇叭天线、多波束天线等形式。对于比幅测向系统, 较为常见的一种形式即为多个喇叭天线组成圆阵, 进行多波束测向, 亦可采用电扫开关依次切换不同的测向单元, 进行幅度比较测向, 该方法可减少接收通道数量, 节约成本。但相比同时多波束系统, 该方法截获概率较低, 降低了系统的战术性能。为了能够降低成本, 同时又能满足一定的测向精度, 就需要以较少的测向单元获得较高的测向精度。对于通常的六方位比幅系统, 测向单元多采用平面螺旋天线, 螺旋天线体积小, 重量轻, 波束宽度亦较恒定 ( $70^\circ$  左右), 工作频带也比较宽。但是其增益较低, 波形易发生变化, 波束指向稳定性较差, 不利于系统灵敏度和测向精度的提高。本文介绍了一种可用于六方位比幅系统的宽带恒波束喇叭天线, 该天线具有相对恒定的波束宽度 ( $60^\circ$  左右), 中等增益, 俯仰波束宽度可控, 工作带宽可达到 3:1 以上。

## 2 天线设计

### 2.1 基本原理

图 1 为 H 面扇形恒波束喇叭天线的结构示意图。

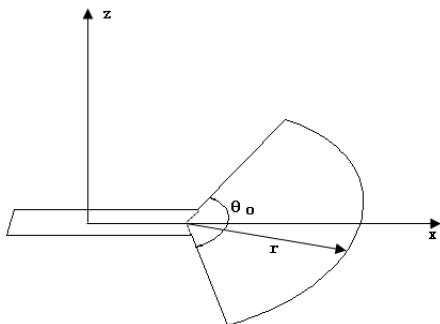


图 1 H 面扇形恒波束喇叭天线示意图

口径场假定为入射波场 (反射波的影响忽略), 口径面与喇叭口主模的圆柱波阵面相一致。

归一化辐射方向图为:

$$E_p(\Theta) = \left( \frac{H \cos \Theta}{2} \right) \frac{\int_{\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} E_\eta(\theta) \cos(\theta - \Theta) \exp[jkr \cos(\theta - \Theta)] d\theta}{\int_{\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} E_\eta(\theta) \cos \theta \exp[jkr \cos \theta] d\theta}$$

这里  $E_\eta(\theta) = A \cos \nu \theta g H_\nu^{(2)}(kr)$ ，  $H_\nu^{(2)}$  为第二类 Hankel 函数，  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ ，  $\nu = \frac{m\pi}{\theta_0}$ ，  $m=1, 2, 3\dots$

计算结果表明，当口径弧长超过二个波长，即  $r\theta_0 > 2\lambda_0$  时，可实现恒波束性能。当口径尺寸小于  $2\lambda$  时，波束形状依赖于口径弧长和张角，而超过  $2\lambda$  口径弧长时，辐射性能几乎只依赖于张角，即对于固定的喇叭张角，不同频率的波束宽度趋于恒定。

## 2.2 天线结构设计

天线结构如图 2 所示。该天线采用 SMA 口馈电，经由一个波导同轴转换转换为双脊波导，在波导末端呈圆弧张开。理论计算结果表明，对于一个具有  $180^\circ$  张角，圆弧口径的喇叭天线，其波束宽度恒定在  $60^\circ$  左右。按照上节所述，天线圆弧口弧长应大于 2 倍的最低工作波长，此处，我们将天线的圆弧半径设计为最低工作频率的一个波长，即  $r = \lambda_l$ ，则弧长长度约为  $3\lambda_l$ 。

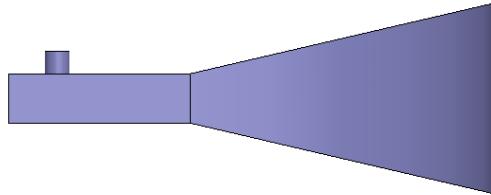


图 2 喇叭天线模型

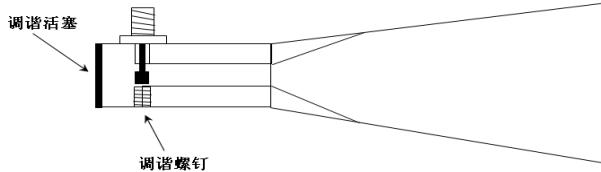


图 3 天线馈电部分示意图

馈电部分采用的是一个经典的开路式设计，馈电器位于脊的末端，在下脊对应位置装有一个调谐螺钉，馈电器芯线末端有一加载块。喇叭天线尾部的底板设计成活塞状，可调节后腔的尺寸。天线在脊波导末端呈圆弧状张开后，脊也向前延伸一段，呈圆扇形展开，采用这种方式，可较好地进行匹配。

通过这样一个馈电设计，天线驻波很容易做到 2:1 以下。

## 3 仿真计算

我们采用仿真软件对该天线进行了建模仿真，仿真结果如下：

图 4-6 为不同频率的 H 面波束仿真曲线。

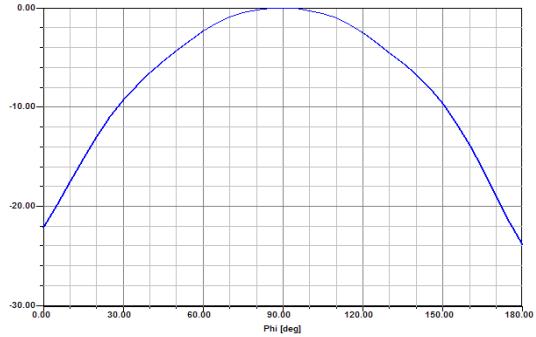


图 4 天线方向图，频率  $f_l$

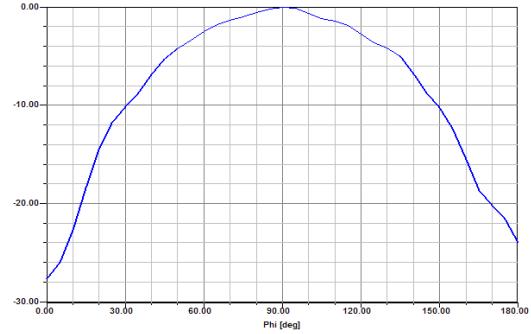


图 5 天线方向图，频率  $f_0$

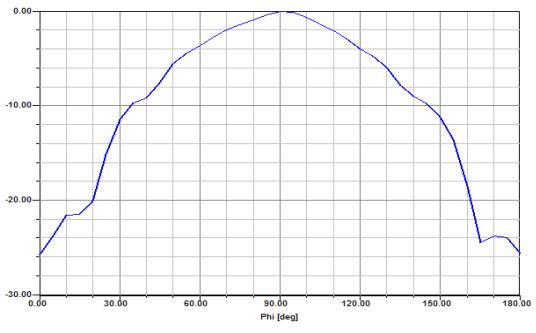


图 6 天线方向图，频率  $f_h$

从仿真结果分析，波束宽度基本恒定在  $60^\circ$  左右，从  $f_l \sim f_h$  ( $f_h: f_l = 3:1$ )，波束宽度变化范围为  $70^\circ \sim 55^\circ$ ，在三个倍频程内，实现了波束的恒定性，且其副瓣较低（低于  $-20\text{dB}$ ）。

## 4 实测结果

依据上述模型，对该天线进行了加工、测试。测试结果如下[图 7-9]：

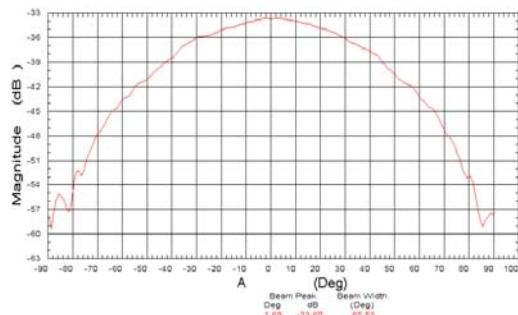


图 7 天线实测方向图，频率  $f_1$

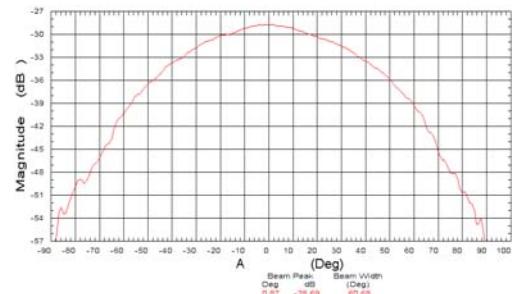


图 8 天线实测方向图，频率  $f_0$

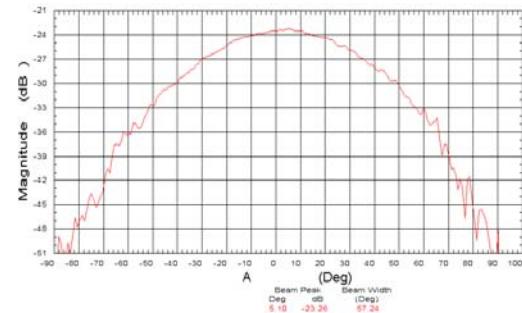


图 9 天线实测方向图，频率  $f_h$

从测试结果可以看出，与仿真设计结果相当吻合，波束呈现较好的恒波束特性且波形光滑，实测增益值大于 6dB。

## 5 结论

本文采用  $180^\circ$  张角设计了  $60^\circ$  波束宽度的测向天线，属于恒波束天线中较特殊的一种情况，其应用不仅局限于测向，亦可用作一定角度范围内的测频天线。对于此类天线，对不同的波束宽度要求，只要符合其设计准则，均可实现恒波束性。

## 参 考 文 献

- [1] 谢处方，邱文杰.天线原理与设计[M].西安：西北电讯工程学院出版社，1985.
- [2] 林昌禄.天线工程手册[M].北京：电子工业出版社，2002.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>